

3. Voronov G.V. Aspects of the aerodynamics in the working space of a modern electric-arc steelmaking furnace / G. V. Voronov, M. V. Antropov, O. V. Porokh // Refractories and Industrial Ceramics. 2014. Vol. 55, № 4. P. 285–287.

4. Воронов Г.В. Газодинамика рабочего пространства современной дуговой сталеплавильной печи / Г.В. Воронов, М.В. Антропов, И.В. Глухов // Новые огнеупоры. 2014. № 11. С. 23–25.

5. Гудим Ю.А. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы: монография / Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселёв. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – 547 с.

УДК 621.1.016.4

Н. В. Гребнева, В. В. Лавров, Н. А. Спирин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ В ПАКЕТЕ ANSYS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ВОДО-ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Аннотация

Современный инженер невозможен без знания систем автоматического проектирования, автоматического производства и автоматического инженерного анализа. Одним из самых распространенных комплексов, позволяющих решить данные задачи, сегодня является программа ANSYS, использующая метод конечных элементов. Программный модуль ANSYS FLUENT имеет широкий спектр возможностей моделирования течений жидкостей и газов для промышленных задач с учетом турбулентности, теплообмена, химических реакций. С помощью данного модуля смоделирован процесс движения жидкости в лабораторной установке «Изучение водо-воздушных теплообменников» для теплообменного аппарата с естественной конвекцией.

Ключевые слова: Теплообменный аппарат, компьютерное моделирование, ANSYS FLUENT, создание твердотельной модели, наложение сетки, граничные условия.

Abstract

The modern engineer is impossible without knowledge of systems of automated designing, automatic production and the automatic engineering analysis. One of the most widespread complexes allowing to solve these problems is the ANSYS, program using a method of final elements. The program module ANSYS FLUENT has a wide range of opportunities of modeling of currents of liquids and gases for industrial tasks taking into account turbulence, heat exchange, chemical reactions. By means of this package, process of the movement of liquid in the laboratory installation "Studying of Air-and-water Heat Exchangers" for the heatexchange device with natural convection is simulated.

Keywords: Heat exchanger, computer modeling, ANSYS FLUENT, creation of a solid model, grid overlay, boundary condition.

Подготовка профессионального исследователя и инженера невозможна без обучения современным системам автоматического проектирования (CAD, Computer Aided Design) и автоматического инженерного анализа (CAE, Computer Aided Engineering) [1]. Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться в научно-исследовательской и производственной сферах, не поддаются аналитическому решению либо требуют больших финансовых и временных затрат на экспериментальную реализацию по схеме «проектирова-

ние – изготовление – испытания». В то же время, прогресс в разработке численных методов и компьютерного моделирования позволил существенно расширить круг задач, доступных расчетному анализу. Полученные на основе методов CAE результаты используются практически во всех областях науки и техники. Одним из самых известных универсальных программных комплексов в области автоматического инженерного анализа является пакет ANSYS [2–4].

Авторы доклада с помощью программного модуля ANSYS FLUENT разработали расчетную модель процесса движения жидкости в теплообменном аппарате с естественной конвекцией для лабораторной установки «Изучение водо-воздушных теплообменников» на кафедре «Теплофизика и информатика в металлургии» института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» [5].

Целью исследования являлось компьютерное моделирование теплообменных процессов при движении жидкости в теплообменном аппарате с естественной конвекцией и сопоставление полученных расчетных значений с результатами экспериментальных исследований на лабораторной установке. Лабораторная установка предназначена для изучения студентами конструкции и принципов работы водо-воздушных теплообменников.

Основными элементами лабораторной установки (рис. 1) являются теплообменный аппарат с естественной конвекцией и водо-воздушный теплообменник с вынужденной конвекцией. В данной работе рассмотрен теплообменный аппарат только с естественной конвекцией.

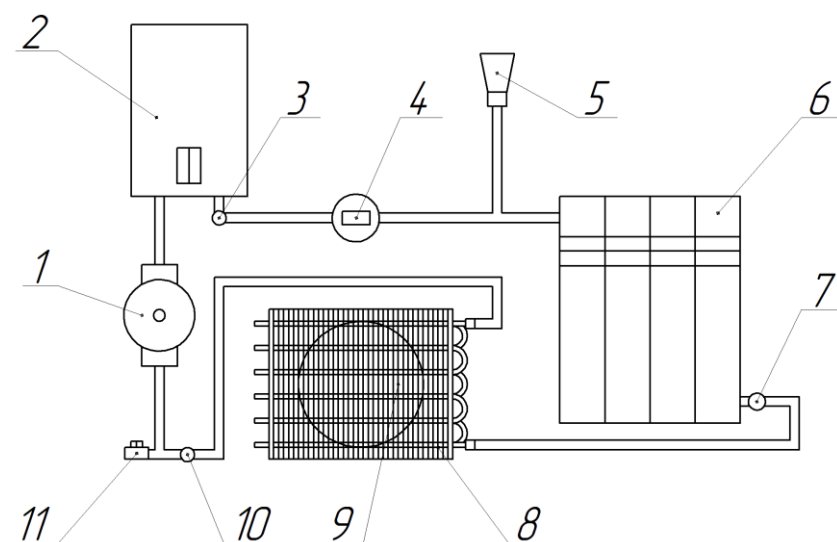


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

- 1 – циркуляционный насос подачи горячего теплоносителя;
- 2 – водонагреватель со ступенчатым управлением нагревом; 3 – термометра на входе в теплообменник с естественной конвекцией; 4 – счетчик расхода теплоносителя с импульсным выходом; 5 – заливочное устройство; 6 – теплообменник с естественной конвекцией; 7 – термометра на выходе из теплообменника естественной конвекции и на входе в теплообменник с вынужденной конвекцией; 8 – теплообменник с вынужденной конвекцией; 9 – термометра воздуха на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией; 10 – термометра на выходе из теплообменника с вынужденной конвекцией;
- 11 – сливной кран горячего теплоносителя.

Центральным объектом при работе в пакете ANSYS Workbench является проект, представляющий собой совокупность геометрических, физических и конечно-элементных моделей тел задачи, для которой находят результат численного решения [3]. Проект может вклю-

чать один или нескольких блоков, реализующих отдельные виды инженерного анализа и состоящих из элементов – структурных, отвечающих за определенный этап анализа.

В общем случае решение задачи инженерного анализа включает в себя следующие этапы:

1) создание расчетной модели (препроцессинг). Здесь создается геометрическая модель, задаются материал и его свойства, генерируется конечно-элементная сетка, определяются физические условия моделирования. В результате этого этапа получают модель, подготовленную для численного решения;

2) настройка решателя и решение. На этом этапе задаются настройки решателя, параметры, обеспечивающие сходимость итерационного процесса, и запускается решение задачи. Результатом этапа является численное решение;

3) обработка результатов (постпроцессинг). В этом этапе на базе полученного численного решения задачи выполняется визуализация распределения искомых физических величин. Конечным результатом этапа являются графики, массивы значений и т.д.

Построение геометрии объекта исследования выполнено в пакете ANSYS с помощью встроенного модуля Geometry Design. Модуль реализует современные методы моделирования плоской и трехмерной геометрии. Кроме стандартных инструментов геометрического моделирования Design Modeler имеет ряд специальных функций, позволяющих подготовить модель к инженерному анализу в ANSYS. Геометрическая модель водо-воздушного теплообменника представлена на рис. 2.

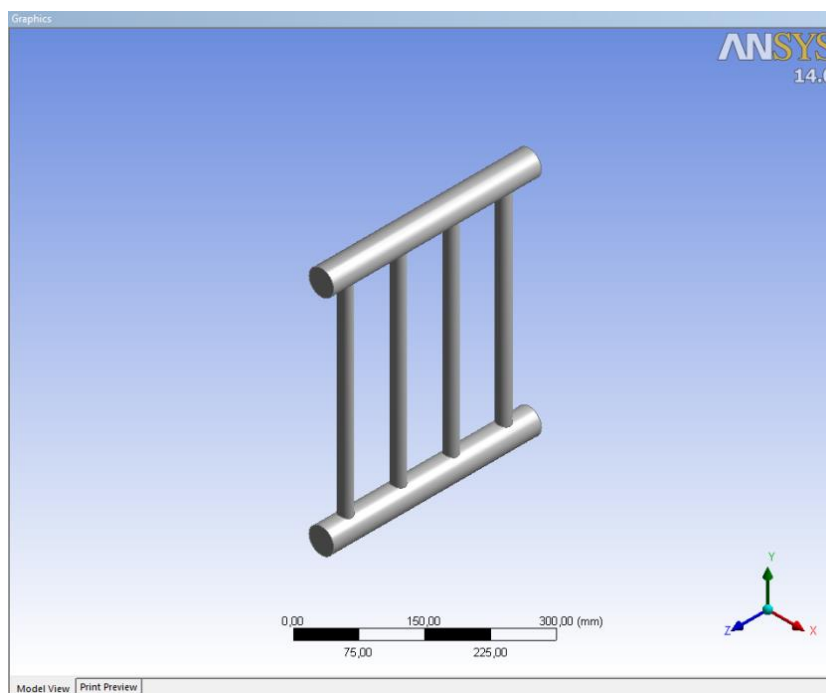


Рис. 2. Геометрическая модель, построенная в модуле Design Modeler

Создание сетки является неотъемлемой частью процесса компьютерного инженерного моделирования. Качество сеточной модели влияет на точность, сходимость и скорость получения решения. В работе использована трехмерная тетраэдральная расчетная сетка. Базовый размер ячейки составил $5 \cdot 10^{-3}$ м. Остальные параметры были заданы автоматически.

Численное решение задачи произведено с помощью программного модуля ANSYS FLUENT, решатель которого основан на методе конечных объемов [2]. При этом область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов; в этом множестве контрольных объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т.д.; уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений; в завершении осуществляется численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области. Интеграция модуля ANSYS FLUENT в рабочую среду ANSYS Workbench, а также

возможность использования модуля ANSYS CFD-Post для обработки результатов создает комплексное решение для выполнения инженерного анализа в области моделирования течений жидкостей и газов.

В качестве начальных условий заданы: температура окружающей среды – 25°C, температура на входе в радиатор 48°C, атмосферное давление 101 325 Па. На входной границе задан расход воды из насоса – 0,7 л/мин или 0,0001167 м³/с (рис. 3), коэффициент теплоотдачи 357 Вт/м²·°C.

Для проверки сходимости расчета использовался контроль текущих значений и невязок компонентов температуры. Кроме того, осуществлялся контроль массового расхода на входных и выходной границах. Относительная величина невязки не превысила 0,2% (рис. 4).

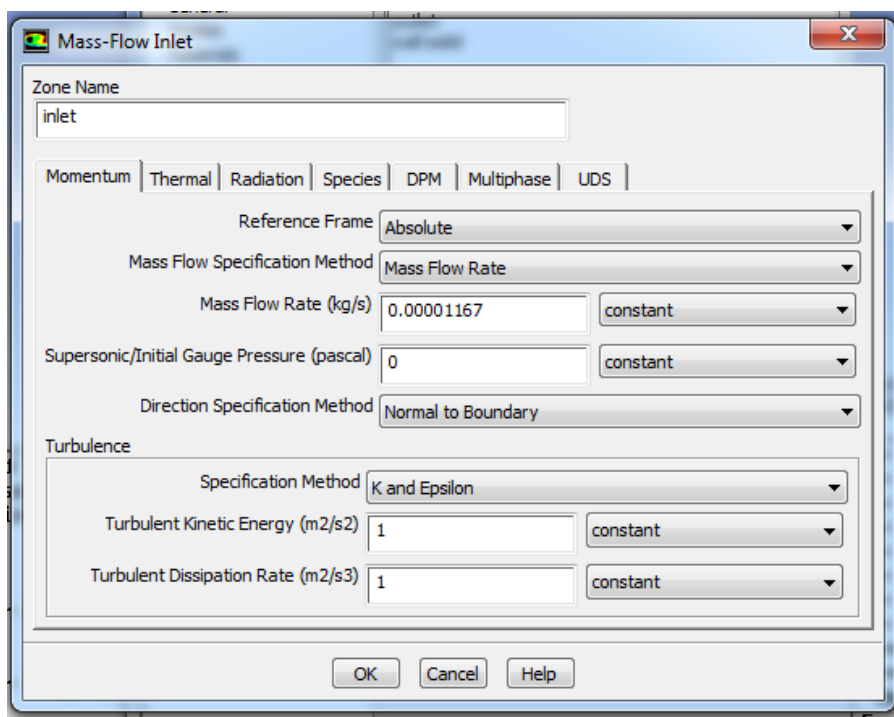


Рис. 3. Определение граничных условий для входа

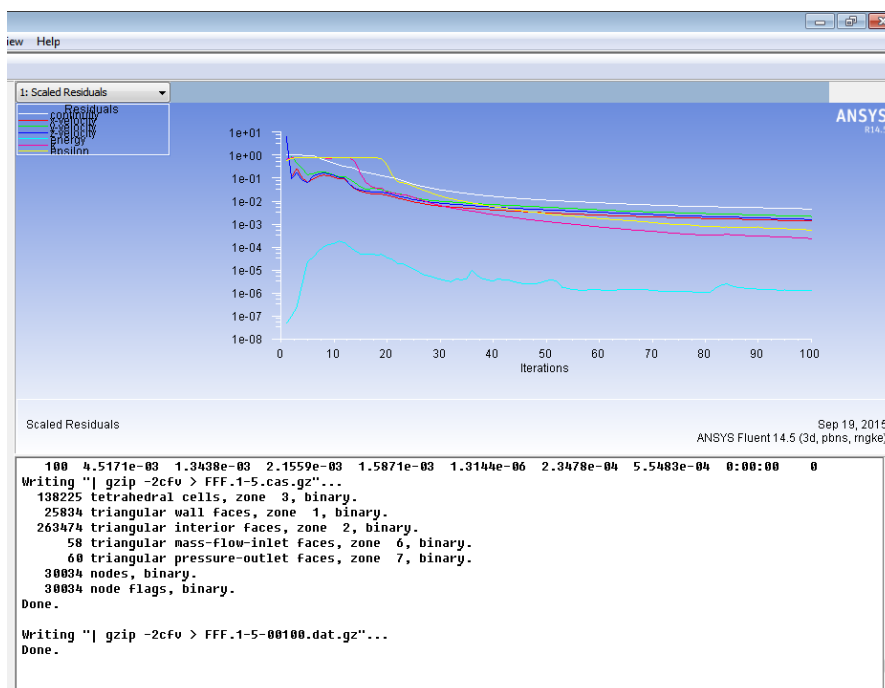


Рис. 4. Окно контроля процесса сходимости решения

Визуализация результатов распределения температуры жидкости в радиаторе для стационарного решения произведена с помощью модуля ANSYS CFD-Post. Фрагмент представлен на рисунке 5.

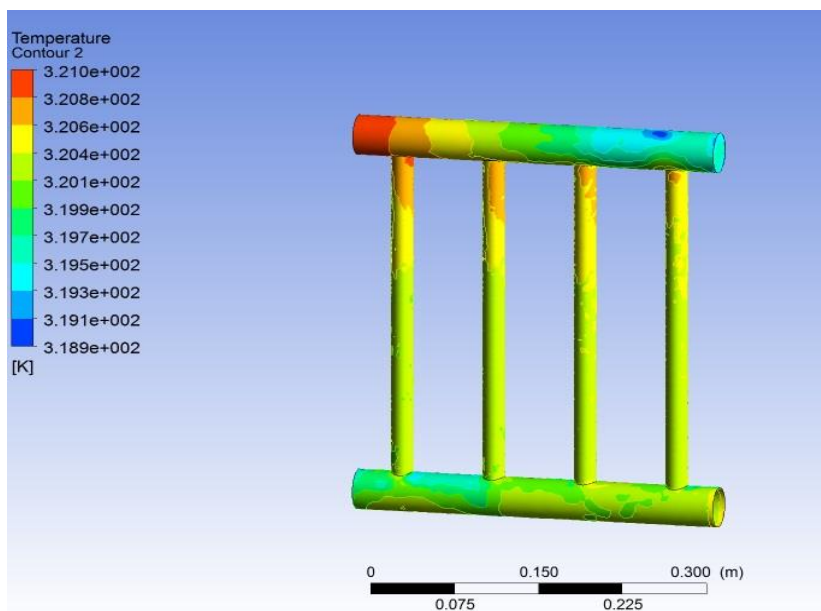


Рис. 5. Распределение температуры воды внутри радиатора

В результате расчета температура воды на выходе из радиатора составила 46,5 °С (319,5 К). Полученные в ходе компьютерного моделирования результаты согласуются с результатами экспериментального изучения теплообменных процессов в теплообменнике, выполненными авторами в соответствии с методикой проведения лабораторных работ. В частности, опытным путем была получена температура воды на выходе из радиатора 45,7 °С. Несущественную разницу между температурой, полученной экспериментально и в пакете ANSYS, можно объяснить потерями на нагрев металла между термпарой и входом в радиатор.

Разработанная компьютерная модель будет использована в учебном процессе при проведении лабораторных и практических работ соответствующих дисциплин для подготовки бакалавров и магистрантов по направлениям «Металлургия» и «Информационные системы и технологии».

Список использованных источников

1. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К.Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
2. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования: учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике» / А.В. Жидков. Нижний Новгород, 2006. – 115 с.
3. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
4. Численное исследование конвективных течений в пакете ANSYS: выпускная квалификационная работа бакалавра / Д.Ф. Ибраев. – Пермь: ПГНИУ, 2012. – 57 с.
5. Компьютерное моделирование водо-воздушных теплообменников в пакете ANSYS для проведения лабораторного практикума / Гребнева Н.В., Черемискина Н.А., Лавров В.В., Киселев Е.В. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всероссийской научно-практической конференции (17–19 декабря 2015 г.). Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2015. С. 323–327.